

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Tetsuaki KATO, et al.

Application No.: TBA

Group Art Unit: TBA

Filed: November 21, 2003

Examiner: TBA

For: ASSEMBLING METHOD AND APPARATUS

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicants submit herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2002-338022

Filed: November 21, 2002

It is respectfully requested that the applicants be given the benefit of the foreign filing date as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: 11-21-03

By: 

John C. Garvey
Registration No. 28,607

1201 New York Ave, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年11月21日
Date of Application:

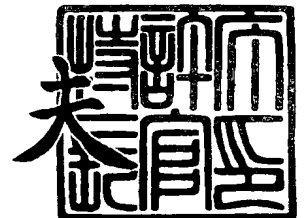
出願番号 特願2002-338022
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP2002-338022]

出願人 ファナック株式会社
Applicant(s):

2003年10月22日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 21551P

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 B23P 19/02

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファ
ナック株式会社 内

【氏名】 加藤 哲朗

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファ
ナック株式会社 内

【氏名】 佐藤 貴之

【特許出願人】

【識別番号】 390008235

【氏名又は名称】 ファナック株式会社

【代理人】

【識別番号】 100082304

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹本 松司

【電話番号】 03-3502-2578

【選任した代理人】

【識別番号】 100088351

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉山 秀雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100093425

【弁理士】

【氏名又は名称】 湯田 浩一

【選任した代理人】

【識別番号】 100102495

【弁理士】

【氏名又は名称】 魚住 高博

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 015473

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9306857

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書
【発明の名称】 組立て方法及び装置
【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ロボットでワークを対象物に押圧しながらワークを挿入する挿入位置を探索して挿入し組立てる組立て方法において、複数の探索方向毎に往復動作の探索範囲を設定し、前記往復動作の周期の大きさに差を設け、ある探索方向の往復動作によりその方向の探索範囲を 1 回移動する間に、次に周期の短い探索方向の往復動作ではその方向においてワークを対象物に挿入可能となる範囲の量以下だけ移動するように、ロボットによりワークを対象物に対して相対移動させて挿入位置を探索することを特徴とする組立て方法。

【請求項 2】 前記挿入位置を探索する途中で、探索方向の力またはモーメントを受けるとその探索方向への移動を停止して、他の探索方向への移動は継続して挿入位置を探索する請求項 1 記載の組立て方法。

【請求項 3】 所定時間停止しても、挿入位置が検出されなければ、停止した探索方向への移動を再開させる請求項 2 記載の組立て方法。

【請求項 4】 前記挿入位置の探索の終了は、ワークを対象物へ押圧する方向への位置、移動量若しくは押圧力の変化のいずれかで検出して探索を終了する請求項 1 乃至 3 の内いずれか 1 項に記載の組立て方法。

【請求項 5】 ロボットアームの先端に取り付けたエンドエフェクタに保持されたワークを対象物に挿入する作業を行う組立て装置において、挿入を開始するワークの位置を探索するための、夫々周期と方向の異なる往復運動を同時に合成してなる探索動作を求める手段と、前記ワークを前記対象物に接触させた状態で挿入方向に所定の力で押し付けながら、前記探索動作に基づいて前記ワークの移動を制御する制御手段と、前記探索動作の完了を検出する手段とを備えた組立て装置。

【請求項 6】 前記複数の往復運動は、回転往復運動も含む請求項 5 記載の組立て装置。

【請求項 7】 ロボット先端にかかる力またはモーメントを検出する手段を備え、検出した力またはモーメントに基づいて、力制御若しくは動力学方程式に

よりロボット各軸を制御する請求項 5 又は請求項 6 記載の組立て装置。

【請求項 8】 前記複数の往復運動の各方向に対して夫々力制御を行うことを特徴とする請求項 7 記載の組立て装置。

【請求項 9】 前記複数の往復運動の各方向を指定する手段と、特定探索方向について探索周期を指定する手段と、各探索方向について探索範囲を夫々指定する手段と、前記対象物と前記ワークとの間の挿入可能範囲量以下の量を各探索方向について夫々指定する手段を備えた請求項 5 乃至 8 の内いずれか 1 項に記載の組立て装置。

【請求項 10】 前記探索動作の経路を、指定された前記探索周期、前記探索範囲、前記挿入可能範囲量以下の量に基づいて求めることを特徴とする請求項 9 記載の組立て装置。

【請求項 11】 探索動作を求める手段は、夫々周期と方向の異なる往復運動の内、 n 番目に周期の短い方向の往復運動が当該方向の探索領域を移動する間に、 $n + 1$ 番目に周期の短い方向の往復運動は当該方向の指定された挿入可能となる範囲の量以下の量を移動するように探索経路を求める請求項 10 記載の組立て装置。

【請求項 12】 前記制御手段は、前記探索動作が、前記探索方向の力又はモーメントが所定の力またはモーメントより大きくなると該探索方向への探索動作を一時停止し、前記挿入方向への押し付けを行いながら他の探索方向の探索動作を継続するよう制御する請求項 5 乃至 11 の内 1 項記載の組立て装置。

【請求項 13】 前記探索動作が、前記探索動作を一時停止した後に所定の時間内に前記対象物に対する前記ワークの挿入が検出されないと、前記探索動作を再開することを特徴とする請求項 12 記載の組立て装置。

【請求項 14】 前記探索動作の完了を検出する手段は、前記ワークの挿入深さが所定の深さに達したことを検出する手段であることを特徴とする請求項 5 乃至 13 の内 1 項記載の組立て装置。

【請求項 15】 前記探索動作の完了を検出する手段は、前記押し付け力が所定以下の力に変化したことを検出する手段であることを特徴とする請求項 5 乃至 13 の内 1 項記載の組立て装置。

【請求項 16】 請求項 1 乃至 15 の内いずれか 1 項に記載の組立て方法または組立て装置を用いて挿入位置を探索し、探索した位置を記憶手段に記憶させておき、次に挿入を行う際には記憶している挿入位置から探索を行うことを特徴とする組立て方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、機械部品の組立て作業、特にワークを対象物の穴に挿入する作業やギヤの位相を合わせながら嵌め合わせを行う作業を、ロボットで行う組立て装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

嵌め合わせる 2 つの部材等の一方をロボットアーム先端のハンド等で把持し、他方の部材に該一方の部材を挿入する作業において、この嵌め合いのクリアランスが厳しいときには、ロボット先端にコンプライアンス機構を取り付けて、位置・姿勢の誤差を修正しながら、一方の部材を他方の部材に挿入する方法がとられている。又、コンプライアンス機構を使用せず、力制御で一方の部材を他方の部材に挿入する方法も採用されている。これは、挿入中の力・モーメントを検出し、その力・モーメントを減少させる方向へロボットを動作させることにより、この挿入を無理なく実現することを可能にしたものである。

【0003】

コンプライアンス機構を使用する場合も、力制御を用いる場合も、ロボットで把持する一方の部材を嵌合する他方の部材の嵌合位置に正確に教示しなければならない。例えば、棒状のワークをロボットハンドで把持し、対象物の穴に該ワークを挿入するような組立て作業の場合、挿入しようとする穴の入口の位置にワーク先端が正確に位置つけられるように教示されなければならない。クリアランスを考慮した穴内に、ワークを相対的に位置決めされなければ、ワークを対象物の穴の方向に押圧しても、ワークは穴に挿入することはできない。又、穴に面取りがされているような場合には、挿入可能なワークと穴の位置決め誤差は、面取り

分だけ増加し、クリアランスと面取り量によって決まる。

【0 0 0 4】

この位置決め許容誤差内に位置決めできなければ、ワークは穴に挿入することはできず、それでも対象物に対してワークを押圧し続けると、ワークや対象物を損傷させる恐れが生じる。

又、ワークと対象物との間で相対的に位置決めしなければならないことから、実際の組立てラインにおいては、ワークや対象物をクランプする機構や、ワークや対象物を搬送し位置決めするコンベア機構等の周辺機器も大がかりなものを必要とし、組立てシステムのコストを向上させる。さらには、これらの機器やロボットに正確な位置を教示しなければならないことから、教示作業者の負担も大きくなるという欠点がある。

【0 0 0 5】

この位置決めを自動化する方法としては、挿入する前に穴の位置をビジョンセンサ等で検出し、位置補正をしてワークを穴に対して相対的に位置決めする方法が知られている。又、力やモーメントを検出して穴の位置を探索する方法なども知られている。さらに、ピンを穴に挿入する作業をロボットを使用して行う場合、ピンを前進させ、ピンの進む方向から力を受けた場合には、ピンをランダムに横方向に進ませ、ピンにモーメントが働いたときには、そのモーメントを減少させる方向にピンを回転させ、ピンが反力を受けないときは直進させて、ピンを穴に嵌合する方法も知られている（特許文献 1 参照）。

【0 0 0 6】

【特許文献 1】

特開平 7 - 3 1 4 2 6 2 号公報

【0 0 0 7】

【発明が解決しようとする課題】

自動的に嵌合位置を探索する方法として、上述したビジョンセンサを用いる方法では、位置決め精度が悪いという問題があり、又、ビジョンセンサを使用しなければならない分コストアップとなるという欠点がある。又、ピンに反力を受けるとランダムに横方向にピンを動かす従来の方法では探索が成功するか保証はな

く探索時間がいたずらに長くなるという欠点を有している。

そこで、本発明の目的は、2つの部材を嵌合、挿入させるための位置合わせが効率的で簡単で、格別なるコストアップともならない組立て装置を提供することにある。

【0 0 0 8】

【課題を解決するための手段】

まず、本発明の探索動作の作用原理について説明する。ワークを対象物の穴等に挿入する場合、ワークが対象物に接触した後、探索動作を開始する。この探索動作は、ワークの挿入方向以外の方向への往復運動となる。例えば、ワーク挿入方向が、Z軸方向であった場合には、探索動作の方向は、1方向から最大5方向、即ち、X、Y軸の並進2方向と、X、Y、Z軸回りの回転3方向（W、P、R）まで同時に行う。

【0 0 0 9】

例えば、図1に示すような棒状のワーク1を対象物2の穴3に挿入する作業の例を取って説明する。この例において、面取り量 r の面取り4が行われているものとし、ワーク1と穴3のあそび量（クリアランス量）が ϵ であるとする。又、ワーク1の穴3への挿入方向がZ軸方向であるとする。そして、ワーク1を対象物2に押し当て、その時のワーク1と穴3の相対位置ずれ（中心間の位置ずれ量）が ΔL であるとする。なお、 $1cp$ はワーク1の中心軸位置、 $3cp$ は穴3の中心位置を示す。

【0 0 1 0】

この相対位置ずれ ΔL が「0」であれば、完全にワーク1は穴3に挿入される。又、ワーク1が穴3の面取り部4の外側円内に位置する場合も、従来の方法によってワーク1を穴3に挿入することが可能になる。このワーク1が穴3の面取り部4の外側円内に入る最大の相対位置ずれ ΔL を考えると、面取り部4の外側円の半径は、ワーク半径よりも「面取り量 r + あそび量 ϵ の $1/2$ 」だけ大きいものであり、半径方向において、この半径差「 $r + \epsilon/2$ 」の相対位置ずれがあっても、ワーク1は穴3に挿入可能となる。ワークが対象物の穴に挿入可能となる範囲を挿入可能範囲という。そして、この挿入可能範囲において探索方向の最

大量を挿入可能範囲量という。

【0 0 1 1】

この例では、挿入可能範囲は、穴 3 の中心位置を中心にして、半径「 $r + \epsilon / 2$ 」、直径「 $2 r + \epsilon$ 」の円内であり、どの探索方向においても挿入可能範囲量は、この円の直径の「 $2 r + \epsilon$ 」となる。そして、この円内をワーク 1 の中心が通過するようにワーク 1 を探索動作で移動させればよい。上述した例の棒状のワーク 1 と円状の穴 3 の場合には、挿入可能範囲は、穴 3 の中心位置を中心とした直径「 $2 r + \epsilon$ 」の円となり、各探索方向の挿入可能範囲量は、面取り量 r とあそび量 ϵ を対象物から測定することによって得ることができる。

又、ワークと対象物の嵌合形状が上述したような円状の棒と円状の穴との嵌合でない場合にも、挿入可能範囲量は、対象物を測定することによって得ることができ、この挿入可能範囲量に基づいて、探索動作を決める。

【0 0 1 2】

まず、往復運動による探索する方向が m あるとし、その探索する方向の内、速く移動する順番を決める。この 1 番速く移動する方向を基準方向と以下いう。又、探索する領域を各探索方向毎に設定する。即ち、この領域は、ワークを対象物の挿入位置近傍に位置決めしたとき、このワークと嵌合しようとする穴等の位置ずれを吸収するような大きさの領域とする。例えば 1 番速く移動する基準方向でこの探索範囲を $R(1)$ とし、次に速く移動する方向での探索範囲を $R(2)$ とする。以下、順に $R(3) \cdots$ と設定する。又、各方向毎に上述した挿入可能範囲量を設定する。この各方向の挿入可能範囲量を速度の速い順に $C(1)$ 、 $C(2)$ 、 \cdots とする。さらに、最も速く往復運動する基準方向の動作周波数を f (周期 $1 / f$) とする。

【0 0 1 3】

基準方向の速度指令値 $Vd1$ は、探索範囲 $R(1)$ を動作周波数 f 、周期 $1 / f$ で移動するのであるから、「 $2 f \cdot R(1)$ 」となる。そして、基準方向が探索範囲 $R(1)$ 移動する間に、2 番目に速い方向に該方向の挿入可能範囲量 $C(2)$ 以内だけ移動させれば、探索範囲内の移動によって、必ず、ワークは対象物の嵌合穴への挿入可能な領域、即ち挿入可能範囲を通ることになる。よって、2 番目に速い方

向への速度指令値 $Vd2$ は「 $2f \cdot C(2)$ 」となる。同様に、2 番目に速い方向が探索範囲 $R(2)$ だけ移動する間に、3 番目に速い方向に該方向の挿入可能範囲量 $C(3)$ 以内だけ移動させるようにする。この 3 番目に速い方向の速度指令値 $Vd3$ は「 $2f \cdot C(2) \cdot C(3) / R(2)$ 」となる。

【0014】

以下同様に、 $(m-1)$ 番目に速い方向が探索範囲 $R(m-1)$ だけ移動する間に、 m 番目に速い方向は、その方向の挿入可能範囲量 $C(m)$ 以内だけ移動させるようにする。その結果、 m 番目に速い方向の速度指令値 V_m は

$$\left[2f \cdot C(2) \cdot C(3) \cdot \dots \cdot C(m) / R(2) \cdot R(3) \cdot \dots \cdot R(m-1) \right]$$

となる。

このように、各探索方向の速度を決めて探索動作をさせれば、必ず、挿入可能な位置が検出され、ワークは対象物の穴等に挿入されることになる。

【0015】

そこで、請求項 1 に係わる発明は、ロボットでワークを対象物に押圧しながらワークを挿入する挿入位置を探索して挿入し組立てる組立て方法において、複数の探索方向に往復動作の探索範囲を設定し、前記往復動作の周期の大きさに差を設け、ある探索方向の往復動作によりその方向の探索範囲を 1 回移動する間に、次に周期の短い探索方向の往復動作ではその方向においてワークを対象物に挿入可能となる範囲の量を移動するように、ロボットによりワークを対象物に対して相対移動させて挿入位置を探索して、ワークを対象物に挿入し組み立てるようにした組立て方法を提供するものである。

又、請求項 2 に係わる発明は、前記挿入位置を探索する途中で、探索方向の力またはモーメントを受けるとその探索方向への移動を停止して、他の探索方向への移動は継続して挿入位置を探索するものである。更に請求項 3 に係わる発明は、所定時間停止しても、挿入位置が検出されなければ、停止した探索方向への移動を再開させるものである。そして、請求項 4 に係わる発明は、前記挿入位置の探索の終了は、ワークを対象物へ押圧する方向への位置、移動量若しくは押圧力の変化のいずれかで検出して探索を終了することを特徴とするものである。

【0016】

請求項 5 に係わる発明は、ロボットアームの先端に取り付けたエンドエフェクタに保持されたワークを対象物に挿入する作業を行う組立て装置において、挿入を開始するワークの位置を探索するための、夫々周期と方向の異なる往復運動を同時に合成してなる探索動作を求める手段と、前記ワークを前記対象物に接触させた状態で挿入方向に所定の力で押し付けながら、前記探索動作に基づいて前記ワークの移動を制御する制御手段と、前記探索動作の完了を検出する手段とを備えた組立て装置を提供するものである。

【 0 0 1 7 】

請求項 6 に係わる発明は、この組み立て装置において、前記複数の往復運動に回転往復運動も含むものとしたものである。又、請求項 7 に係わる発明は、ロボット先端にかかる力またはモーメントを検出する手段を備え、検出した力またはモーメントに基づいて、力制御若しくは動力学方程式によりロボット各軸を制御するようにしたものである。

請求項 8 に係わる発明は、前記複数の往復運動の各方向に対して夫々力制御を行うようにした。又、請求項 9 に係わる発明は、これら組立て装置において、前記複数の往復運動の各方向を指定する手段と、特定探索方向について探索周期を指定する手段と、各探索方向について探索範囲を夫々指定する手段と、前記対象物と前記ワークとの間の挿入可能となる範囲の量を各探索方向について夫々指定する手段を備えることを特徴とするものである。

【 0 0 1 8 】

請求項 1 0 に係わる発明は、前記探索動作の経路を、指定された前記探索周期、前記探索範囲、前記挿入可能となる範囲の量に基づいて求めるものとした。請求項 1 1 に係わる発明は、探索動作を求める手段を、夫々周期と方向の異なる往復運動の内、 n 番目に周期の短い方向の往復運動が当該方向の探索領域を移動する間に、 $n + 1$ 番目に周期の短い方向の往復運動は当該方向の指定された挿入可能となる範囲の量を移動するように探索経路を求めるようにした。

請求項 1 2 に係わる発明は、前記制御手段により、前記探索動作が、前記探索方向の力又はモーメントが所定の力またはモーメントより大きくなると該探索方向への探索動作を一時停止し、前記挿入方向への押し付けを行いながら他の探索

方向の探索動作を継続するよう制御するようにした。更に、請求項 1 3 に係わる発明は、前記探索動作が、前記探索動作を一時停止した後に所定の時間内に前記対象物に対する前記ワークの挿入が検出されないと、前記探索動作を再開するようにした。

そして、請求項 1 4 に係わる発明は、前記探索動作の完了を検出する手段を、前記ワークの挿入深さが所定の深さに達したことを検出する手段とした。

又、請求項 1 5 に係わる発明は、前記探索動作の完了を検出する手段を、前記押し付け力が所定以下の力に変化したことを検出する手段とした。請求項 1 6 は上述した組立て方法または組立て装置を用いて挿入位置を探索し、探索した位置を記憶手段に記憶させておき、次に挿入を行う際には記憶している挿入位置から探索を行うようにすることによって、探索にかかる時間を短縮して組立ての効率を向上させたものである。

【 0 0 1 9 】

【発明の実施の形態】

図 1 は、本発明の一実施形態の組立て装置が行うワーク 1 を対象物 2 の穴 3 に挿入する作業の説明図である。

対象物 2 には Z 軸方向に穴 3 が穿設され、該穴 3 に棒状のワーク 1 をロボットを用いて自動的に挿入する作業である。穴 3 には、面取り量 r の面取りがなされ、ワーク 1 の中心位置 1 cp と穴 3 の中心位置 3 cp 間の相対位置ずれが「 ΔL 」である状態を示している。

【 0 0 2 0 】

この場合探索方向は、X 軸方向、Y 軸方向である。又、面取り量 r 及びワーク 1 と穴 2 のあそび量 ϵ を測定し、X 軸方向、Y 軸方向の挿入可能範囲量 $C(X)$ 、 $C(Y)$ を求める。この例では、あそび量 ϵ を「0」とし、挿入可能範囲量は $C(X) = C(Y) = 2r$ としている。又、X 軸方向、Y 軸方向の探索範囲を $R(X)$ 、 $R(Y)$ を設定する。この場合、図 2 に示すように、 $R(X) = xL \sim xU$ 、 $R(Y) = yL \sim yU$ と設定されたとする。

【 0 0 2 1 】

そして、X 軸方向を 1 番速く移動させる基準方向とし、その往復周波数 f (周

期 $1/f$) を設定する。そうすると、X 軸方向の速度指令 V_{dx} は「 $2f \cdot R(X)$ 」となる。又、X 軸方向に $R(X)$ だけ移動する時間 ($1/2f$) に、Y 軸方向には、Y 軸方向の挿入可能範囲量 $C(Y) = 2r$ よりも小さい距離だけ移動させるようにすれば、探索途中のいずれかにおいて、ワーク 1 の中心位置 1_{cp} は、対象物 2 の穴 3 の中心位置 3_{cp} を中心とした、面取り量 r の半径の円である挿入可能範囲 10 内に入ることになる。この時の Y 軸方向の速度指令 V_{dy} は、 $V_{dy} = 2f \cdot C(Y) = 2f \cdot 2r = 4fr$ である。

【0022】

図 2 は、このときの探索動作の説明図である。図 2 に破線で示す経路は、ワーク 1 の中心 1_{cp} が通る探索動作の経路である。又、 3_{cp} は、穴の中心で、符号は 10 は半径 r の円の挿入可能範囲を示している。X 軸方向に探索範囲 $R(x)$ の $x_L \sim x_U$ まで移動する間に、Y 軸方向には、 $Q \leq 2r$ だけ移動する。その結果、この X 軸方向 $R(x) = x_L \sim x_U$ 、Y 軸方向 $R(y) = y_L \sim y_U$ の探索範囲を探索動作する間に必ず、ワーク 1 中心は、穴 3 の中心を中心とする半径 r の円の挿入可能範囲 10 内に入ることになる。そして、ワーク 1 は対象物 2 の方向、即ち Z 軸方向に押し付けられているから、ワーク 1 中心が穴 3 の中心位置 3_{cp} を中心とする半径 r の挿入可能範囲である円 10 内に入れば、ワーク 1 は穴 3 内に挿入されることになる。

【0023】

図 3 は、上記例で、Y 軸方向の速さを、「 $4fr$ 」よりも速くした場合、即ち、X 軸方向に探索範囲 $R(x) = x_L \sim x_U$ だけ移動する間に、Y 軸方向に $2r$ を越える距離移動するようにしたときの例で、この場合、設定探索範囲 (X 軸方向 $R(x) = x_L \sim x_U$ 、Y 軸方向 $R(y) = y_L \sim y_U$) を探索しても、図 3 に示すように、ワーク 1 の中心は穴 3 の中心を中心とする半径 r の円内、即ち、挿入可能範囲 10 内に入ることができないことになる。

【0024】

図 4 は、本実施形態の組立て装置が行う第 2 の例の説明図で、この例は、オートマチック・トランスミッションに使用されるクラッチを組立てる例で、外側に歯が切ってあるギヤ 5 を内側に歯の切ってあるリング状のプレート 7 に歯を合わ

せながら挿入する作業を自動的に行う作業である。なお、符号 6 は複数のプレート 7 を収納する外筒である。この例では、Z 軸方向にギヤ 5 がプレート 7 に挿入されるように配置されているものとする。プレート 7 は X Y 平面で動くと同時に Z 軸回り（以下 R 方向という）にも回転できる。

【 0 0 2 5 】

この例の場合、探索方向が X 軸方向、Y 軸方向、R 方向の 3 方向であり、各方向毎に探索範囲 $R(x)$ 、 $R(y)$ 、 $R(R)$ を決定し設定する。この探索範囲 $R(x)$ 、 $R(y)$ 、 $R(R)$ の中にプレート 7 の中心が存在するようにこの探索範囲は設定する。又、各探索方向の挿入可能範囲量 $C(x)$ 、 $C(y)$ 、 $C(R)$ も測定し設定する。この例の場合、X、Y 方向の挿入可能範囲量 $C(x)$ 、 $C(y)$ は、面取りがされてないことから、プレート 7 とギヤ 5 の夫々 X、Y 方向のあそび量となる。又、R 方向の挿入可能範囲量 $C(R)$ は、ギヤのバックラッシに相当するあそび量である。図 5 は、この R 方向の挿入可能範囲量 $C(R)$ の説明図で、R 方向（Z 軸回り方向）のギヤ 5 とプレート 7 の歯間のあそび距離 ϵ がこの挿入可能量 $C(R)$ となる。

【 0 0 2 6 】

そして、この例では、1 番速い速度で移動させる方向を R 方向とし、この往復回転運動の周波数を f とする。次に速い速度の方向は X 軸方向、その次は Y 軸方向とする。

R 方向の速度指令 $V_{dR} = 2 f \cdot R(R)$

R 方向に探索範囲 $R(R)$ だけ移動する時間 $(1 / 2 f)$ に、X 方向には挿入可能範囲量 $C(x)$ だけ動くようにする。その結果 X 方向の速度 V 指令 $dx = 2 f \cdot C(x)$ となる。

Y 方向は、X 方向に探索範囲 $R(x)$ だけ移動する時間 $(R(x) / 2 f \cdot C(x))$ に、挿入可能範囲量 $C(y)$ だけ動くようにする。その結果 Y 方向の速度指令 $V_{dy} = 2 f \cdot C(x) \cdot C(y) / R(x)$ となる。

【 0 0 2 7 】

以上のように各方向へ夫々の速度指令を出力し、ロボットを駆動して、ワーク 1 又はギヤ 5 を移動させ、ワーク 1 を穴 3 に又はギヤ 5 をプレート 7 に挿入させるが、この探索途中で、ある方向の力またはモーメントが大きくなった場合、そ

の方向について、挿入嵌合する 2 つのものの位置又は角度が合致し係合したものと想定されるので、その方向への移動は一時停止し、他の方向への移動のみで探索を持続し、所定時間だけ一時停止してワーク等の穴等への挿入が検出できない場合には、一時停止を解き再度探索を開始する。又、この探索途中でワーク等が穴等に挿入された場合、これを力または、移動量、移動位置等で検出し、この探索動作を終了する。

【0028】

図 6 は、本発明の組立て装置一実施形態を形成するロボット制御装置の要部ブロック図であり、従来のロボット制御装置と同一構成である。符号 17 で示されるバスに、メインプロセッサ 11、RAM、ROM、不揮発性メモリ（EEPROM など）からなるメモリ 12、教示操作盤用インターフェイス 13、外部装置用のインターフェイス 16 及びサーボ制御部 15 が接続されている。又、教示操作盤用インターフェイス 13 には教示操作盤 14 が接続されている。この教示操作盤 14 より、各種設定値、パラメータを設定する。本実施形態では、基準方向（基準軸）、各探索方向（探索軸）、各挿入可能範囲量、押し付け方向、押し付け力、押し付け速度、探索周波数又は探索周期等を設定入力する。

【0029】

ロボット及びロボット制御装置の基本機能を支えるシステムプログラムは、メモリ 12 の ROM に格納されている。又、本発明の探索動作のプログラム並びに関連設定データは、教示操作盤 14 等から設定されメモリ 12 の不揮発性メモリに格納される。メモリ 12 の RAM は、プロセッサ 11 が行う各種演算処理におけるデータの一時記憶の記憶領域として使用される。

【0030】

サーボ制御部 5 は、サーボ制御器 # 1 ～ # n（n：ロボットの総軸数、さらには必要に応じてロボット手首に取り付けるツールの可動軸数を加算した数）を備えており、各サーボ制御器 # 1 ～ # n は、プロセッサ、ROM、RAM 等で構成され、各軸を駆動するサーボモータの位置・速度のループ制御、さらには電流ループ制御を行っている。いわゆる、ソフトウェアで位置、速度、電流のループ制御を行うデジタルサーボ制御器を構成している。サーボ制御器 # 1 ～ # n の出力

は各サーボアンプ A 1 ~ A n を介して各軸サーボモータ M 1 ~ M n を駆動制御する。なお、図示はしていないが、各サーボモータ M 1 ~ M n には位置・速度検出器が取り付けられており、該位置・速度検出器で検出した各サーボモータの位置、速度は各サーボ制御器 # 1 ~ # n にフィードバックされるようになっている。又、入出力インターフェイス 1 6 には、ロボットに設けられた 6 軸センサや周辺機器のアクチュエータやセンサが接続されている。

上述したロボット制御装置の構成は、従来のロボット制御装置の構成と何等変わりはない。本発明は、このようなロボットとロボット制御装置で組立て装置を構成している。

【 0 0 3 1 】

図 7 は、本実施形態における探索動作処理のフローチャートである。この実施形態では、図 4 に示したギヤ 5 をプレート 7 に挿入する作業を行うときの処理を示している。

まず、教示プログラム等によって、ギヤ 5 を把持したロボットを駆動しプレート 7 の穴にこのギヤ 5 を挿入開始する予め教示された位置に移動させる。そして、図 7 に示す探索処理、及び嵌合処理を開始させる。

【 0 0 3 2 】

従来と同じ方法の力制御により、予め設定されている押圧方向（この場合 Z 軸方向）にギヤ 5 を移動させる（ステップ 1 0 1）。即ち、各軸を方向の力指令値 $F(i)$ （なお i は、X、Y、Z、及び X、Y、Z 各軸回りの W、P、R 軸を示す）、速度指令値 $Vd(i)$ に基づいて、力制御して移動させるが、この場合、Z 軸方向の力指令値 $Fd(z)$ のみ設定されており、他の軸の力指令値は「0」である。又同様に、Z 軸方向の速度指令値 $Vd(z)$ のみ設定値が設定されており、他の軸の速度指令値は「0」である。

【 0 0 3 3 】

そして、ロボット手首先端に設けられた 6 軸センサにより手首にかかる力・トルク $F(i)$ を検出する（ステップ 1 0 2）。

次に挿入方向の検出力・トルク $F(i)$ が設定値 $F0$ を越えるまで、この押し付け動作を実行する（ステップ 1 0 3）。この例では、Z 軸方向が挿入方向であるか

ら、Z 軸方向の検出力・トルク $F(z)$ が設定値 F_0 を越えたことが判断されるまで、Z 軸方向への移動を続ける。

【 0 0 3 4 】

設定値 F_0 を越えたこと、即ち、ワーク（ギヤ 5）を対象物（プレート 7）に所定押圧力で押圧した状態が検出されると、予め設定されている基準方向の軸である探索基準軸（図 4 で示す例では Z 軸回りの R 軸）、探索軸（X、Y 軸）、探索周波数 f 、探索範囲 $R(x)$ 、 $R(y)$ 、 $R(R)$ 、挿入可能範囲量 $C(x)$ 、 $C(y)$ 、 $C(R)$ に基づいて、各軸方向の速度指令 $Vd(i)$ を求める（ステップ 1 0 4）。

【 0 0 3 5 】

前述したように、

$$Vd(R) = 2 f \cdot R(R)$$

$$Vd(x) = 2 f \cdot C(x)$$

$$Vd(y) = 2 f \cdot C(x) \cdot C(y) / R(x)$$

である。なお、これら各軸方向の速度指令 $Vd(i)$ は最初は + 方向を指令しておく。

次に、ロボットのツール先端点（TCP）の現在位置 $P(i)$ 、速度 $V(i)$ を求める（ステップ 1 0 5）。

【 0 0 3 6 】

求めた現在位置の内、探索方向の X、Y、R 軸方向の現在位置 $P(x)$ 、 $P(y)$ 、 $P(R)$ が夫々探索範囲 $R(x) = xL \sim xU$ 、 $R(y) = yL \sim yU$ 、 $R(R) = RL \sim RU$ 内か否か判断する。即ち、X 軸方向の現在位置 $P(x)$ が、探索範囲の上限値 xU を越え大きくなっていないか、又は下限値 xL を越え小さくなっていないかを判断する。他の Y 軸、R 軸についても同様であり、それぞれの探索範囲から出ているときには、夫々の速度指令 $Vd(i)$ の符号を反転する（ステップ 1 0 6 ～ 1 1 1）。

【 0 0 3 7 】

次に力センサにより各軸方向の力・トルク $F(i)$ （ $i = X, Y, Z, W, P, R$ 軸で、これら軸方向の力・トルク）を検出する（ステップ 1 1 2）。そして、各探索方向の移動一時停止時間を計時するタイマ T_x 、 T_y 、 T_R が「0」か判断し（ステップ 1 1 3, 1 1 6, 1 1 9）、ゼロであれば、ステップ 1 1 2 で検出

したX、Y、R方向の力・トルク $F(x)$ 、 $F(y)$ 、 $F(R)$ が夫々設定基準値 F_0 を越えたか判断する（ステップ114、117、120）。

【0038】

設定基準値 F_0 を越えている、力・トルク $F(x)$ 、 $F(y)$ 、 $F(R)$ があれば、その方向において、ギヤ5（ワーク1）とプレート7（対象物2の穴3）との位置ずれがその方向の挿入可能範囲内にあると想定できるので、その方向への移動指令を停止させ、タイマ T_x 、 T_y 、 T_R に停止時間 T_s をセットしスタートされる（ステップ115、118、121）。

【0039】

次に、公知の力制御方式により力制御を行いロボットTCPの直交座標系における制御周期毎の移動指令 $\Delta P(i)$ を求める（ステップ122）。例えば、この力制御を公知のインピーダンス制御で行う場合には、ステップ104で求めた速度指令値 $V_d(i)$ 、ステップ105で求めた実速度 $V(i)$ 、予め設定されている力指令値 $F_d(i)$ 、ステップ112で求めた力・トルク $F(i)$ より、ロボットTCPの直交座標系における制御周期毎の移動指令 $\Delta P(i)$ を求める。この場合、ステップ107、109、111で、符号が反転された軸は、その軸の速度指令値 $V_d(i)$ は、その符号を反転させ、又、ステップ115、118、121で、移動指令の停止が出力されタイマが「0」となっていない軸については、移動指令 $\Delta P(i)$ は出力しない。

【0040】

この求めた直交座標系上の制御周期毎の移動指令 $\Delta P(i)$ からロボット各関節軸の制御周期毎の移動指令 $\Delta Q(n)$ （各関節軸の回転角）を求める（ステップ123）。この各軸移動指令を各関節軸のサーボ制御器#1～#nに出力し、各軸の速度制御を行い、ロボットを駆動制御する（ステップ124）。挿入方向であるZ軸方向には力指令値 $F_d(z)$ が所定値に設定されていることから、この挿入方向のZ軸方向の移動量 $\Delta P(z)$ が設定値 P_D 以上か判断し、設定値 P_D 以上でないときには、ステップ105に戻り前述した処理を繰り返し実行する。なおZ軸方向の移動量 $\Delta P(z)$ によって挿入完了を検出するのではなく、Z軸方向の位置が所定値を越えたとき、挿入完了として検出してもよい。又、検出力・トルク F

(z)が設定値 F_s 以下になったとき、挿入完了としてもよい。

【0041】

以下、ステップ105～ステップ125の処理を繰り返し実行し、各探索方向毎にその探索領域を越えると符号を反転させ（ステップ106～111）、かつ、検出力・トルクが設定値 F_0 を越える探索方向が検出されると、その方向をタイマで設定された所定時間 T_s だけその方向の移動指令を停止させ、所定時間経過しタイマが「0」になっても探索が終了しなければ、一時停止のとき、再度当初の探索動作を継続して行う（ステップ113～121）。

【0042】

そして、この探索動作を続ける内に、ギヤ5（ワーク1）は挿入可能範囲10に入り、かつ、ギヤ5（ワーク1）は常に挿入方向へ押圧されているから、プレート7（対象物2の穴3）内に挿入され、挿入方向のZ軸の移動量が増大する。その移動量 $\Delta P(z)$ が設定値 P_D を越えると、ギヤ5（ワーク1）とプレート7（対象物2の穴3）に挿入されたとして、この探索、挿入組立て処理は終了する。

【0043】

上述した実施形態は、速度指令をベースにしてワークを対象物の穴等に挿入制御する例を示したが、トルク指令をベースにして、この挿入制御を実施してもよい。このトルク指令をベースにして行う処理を図8に示す。

この図8に示す処理と図7で示した処理の相違点はステップ222～ステップ224の処理のみである。即ち、図8において、ステップ201～ステップ221までの処理は、図7に示す処理のステップ101～ステップ121までの処理と全く同一である。よって、ステップ201～ステップ221までの処理の説明は省略する。

【0044】

ステップ222では、ニュートン・オイラー法やラグランジュ法等の周知の動力学運動方程式に基づいて、各軸速度指令 $V_d(i)$ 、実速度 $V(i)$ 、検出力・トルク $F(i)$ よりロボット各関節軸トルク指令 $\tau(n)$ を求める。求めた各関節軸トルク指令 $\tau(n)$ に基づいて、各サーボ制御器#1～#nでトルクループ制御を行って

各軸サーボモータ M 1 ～ M 6 を駆動制御する（ステップ 2 2 3）。

そして、挿入方向（Z 軸方向）の検出力・トルク $F(z)$ が設定値 F_s より小さくなったか判断し（ステップ 2 4 4）、小さくなってなければステップ 2 0 5 に戻り以下ステップ 2 0 5 ～ステップ 2 4 4 の処理を繰り返し実行する。

【 0 0 4 5 】

ギヤ 5（ワーク 1）はプレート 7（対象物 2 の穴 3）に押し付けられて入るから挿入孔に嵌合しない限り、検出力・トルク $F(z)$ は減少することはない。しかし、ギヤ 5（ワーク 1）がプレート 7（対象物 2 の穴 3）に挿入されると、反力がロボットに加わらなくなるため、検出力・トルク $F(z)$ は減少し設定値 F_s 以下となり、挿入を検出することができる。この挿入検知でこの探索、挿入組立て処理は終了する。又、Z 軸方向の移動量 $\Delta P(z)$ が設定値 P_D 以上となったとき挿入されたと判別してもよい。

【 0 0 4 6 】

以上のようにして、ロボットで把持したワークを対象物に対して挿入する位置を探索し、挿入することができる。この探索する範囲は、位置合わせ時の誤差より大きくなければ探索は成功しない。また探索範囲を大きくすると当然探索時間は長くなり、組み立てに要する時間が長くなる。

一方、位置合わせの精度をよくすれば、探索時間は短くなり、短時間で挿入位置を検出できる。しかし、教示作業員の負担は増大し教示時間が長くなる。位置教示作業の効率、簡単さの点では、精度が悪いまま済ませる方が便利である。

【 0 0 4 7 】

そこで、ある程度位置決めされた対象物に対してワークをロボットで自動的に挿入する作業を連続的に行うような場合、まず、最初は、作業員にとって簡単に実現できる精度で挿入開始位置を求め、探索範囲をこの位置における位置決め誤差よりも十分大きく取った範囲として設定し、探索動作をさせ、探索結果、挿入位置が検出されたときの位置を記憶しておき、次回からはこの記憶した位置から探索を開始するようにすることによって探索時間を短くすることができる。

【 0 0 4 8 】

ロボットと対象物の位置決め装置を含めた位置決めシステムの精度が面取り量 r よりも小さい場合には、探索範囲は「0」となり探索動作を省略することができる。また、位置決めシステムの精度が面取り量 r よりも大きい場合には、位置決めシステムの精度 $+\alpha$ の値を探索範囲として探索動作を行わせるようにする。

【0049】

図9は、上述した対象物が所定位置に順次供給され、ロボットによりワークを挿入する組立て方法のフローチャートである。図1に示すような、対象物2の穴3にワーク1を挿入する作業を行うシステムの例でこのシステムの位置決め精度が面取り量 r 未満であるような場合の例である。

【0050】

作業者は、挿入開始位置が検索済みか判断し（ステップ301）、検索されていなければ、大雑把に挿入開始位置に位置合わせを行う（ステップ302）。そして、図7または図8に示した探索処理をロボットに実行させ（ステップ303）、挿入位置が検出されると、この検出位置をメモリ12に記憶する（ステップ304）。そして、ワーク1を対象物2の孔3に挿入し（ステップ305）、挿入組立て作業は終了する。一方、次からの対象物2に対するワーク1の挿入作業は、挿入位置を検索して記憶していることから、この記憶した検索位置にロボットを移動させ（ステップ306）、該位置から検索を実行する（ステップ307）。この検索の開始位置は、先の対象物とワークによって求めた挿入位置としての検索位置であるから、ほぼ挿入位置近傍であり、対象物を位置決めする装置の位置決め誤差やロボットハンド等でワークを把持する際の把持位置の誤差等荷よって生じる誤差範囲内である。そのため、このステップ307での検索では短時間で挿入位置を検出することができる。そして、挿入位置が検索されるとステップ305に移行し対象物2の孔3にワーク1を挿入して組立て作業を終了する。以下、ステップ301、306、307、305の処理を繰り返し実行することになる。

【0051】

【発明の効果】

本発明は、確実にかつ簡単に挿入、嵌合位置を検出し、挿入、嵌合動作を自動

的に行うことができる。又、従来技術と比較して特別な装置を必要とせず、コストアップともならない。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明が行う動作作業の内の一例を示す図である。

【図 2】

同例における本発明の及び本発明の一実施形態が行うの探索動作の説明図である。

【図 3】

同例における探索動作が失敗するケースの説明図である。

【図 4】

本発明が行う動作作業の内の他の一例を示す図である。

【図 5】

他の一例における R 方向の挿入可能範囲量の説明図である。

【図 6】

本発明の一実施形態の組立て装置を形成するロボットのロボット制御装置の要部ブロック図である。

【図 7】

同実施形態における速度指令をベースとしたときの探索、挿入組立て処理のフローチャートである。

【図 8】

同実施形態におけるトルク指令をベースとしたときの探索、挿入組立て処理のフローチャートである。

【図 9】

本発明の一実施形態の組立て方法のフローチャートである。

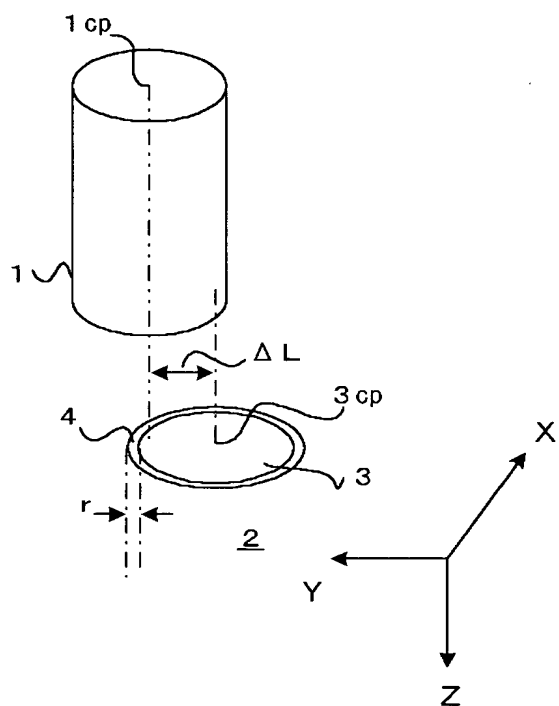
【符号の説明】

- 1 ワーク
- 2 対象物
- 3 穴

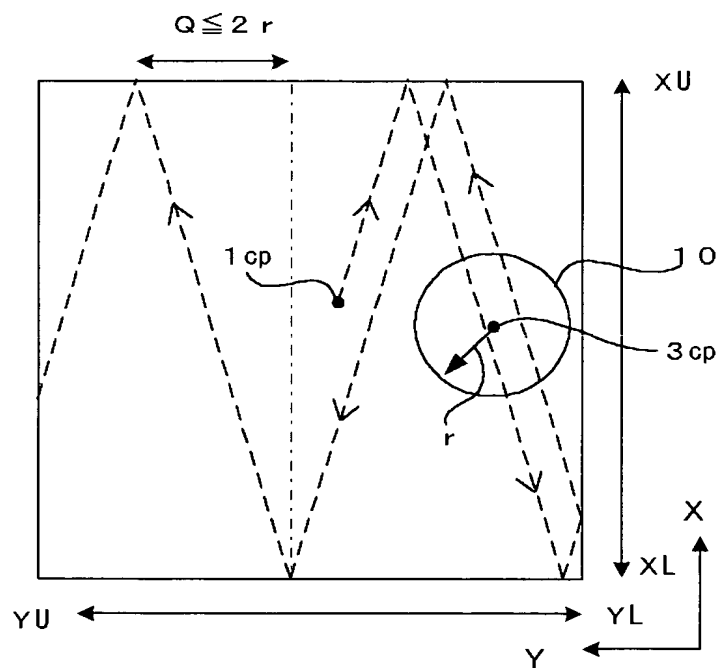
- 4 面取り部
- 5 ギヤ
- 6 外筒
- 7 プレート

【書類名】 図面

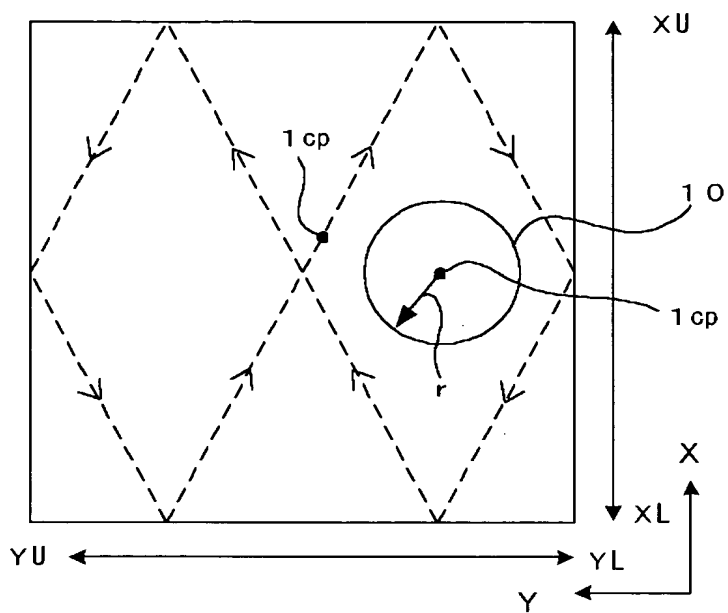
【図 1】



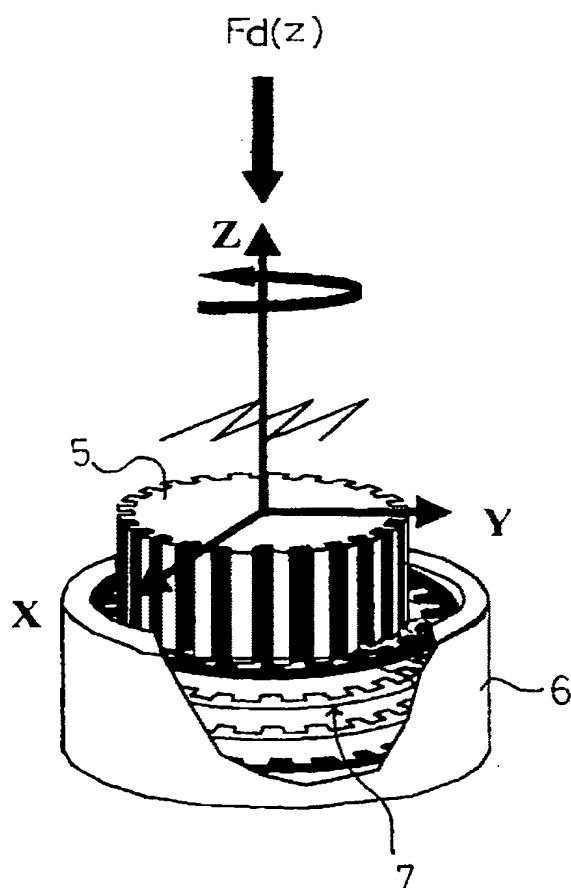
【図 2】



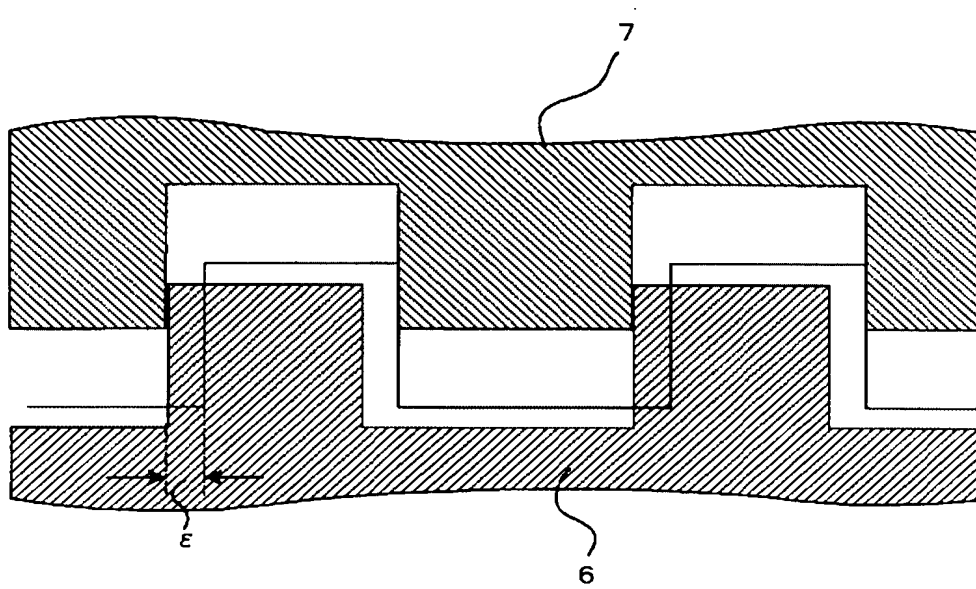
【図 3】



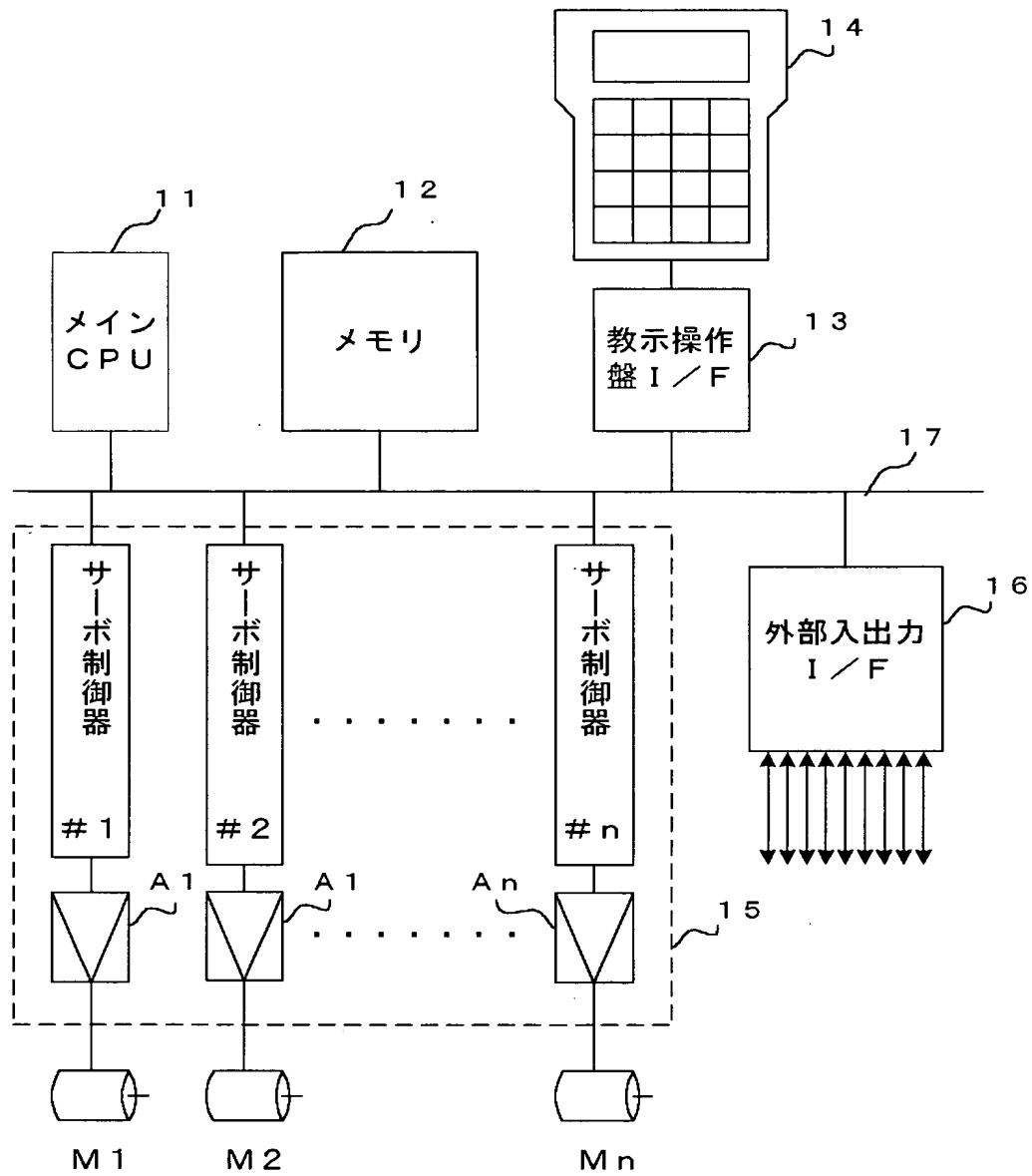
【図 4】



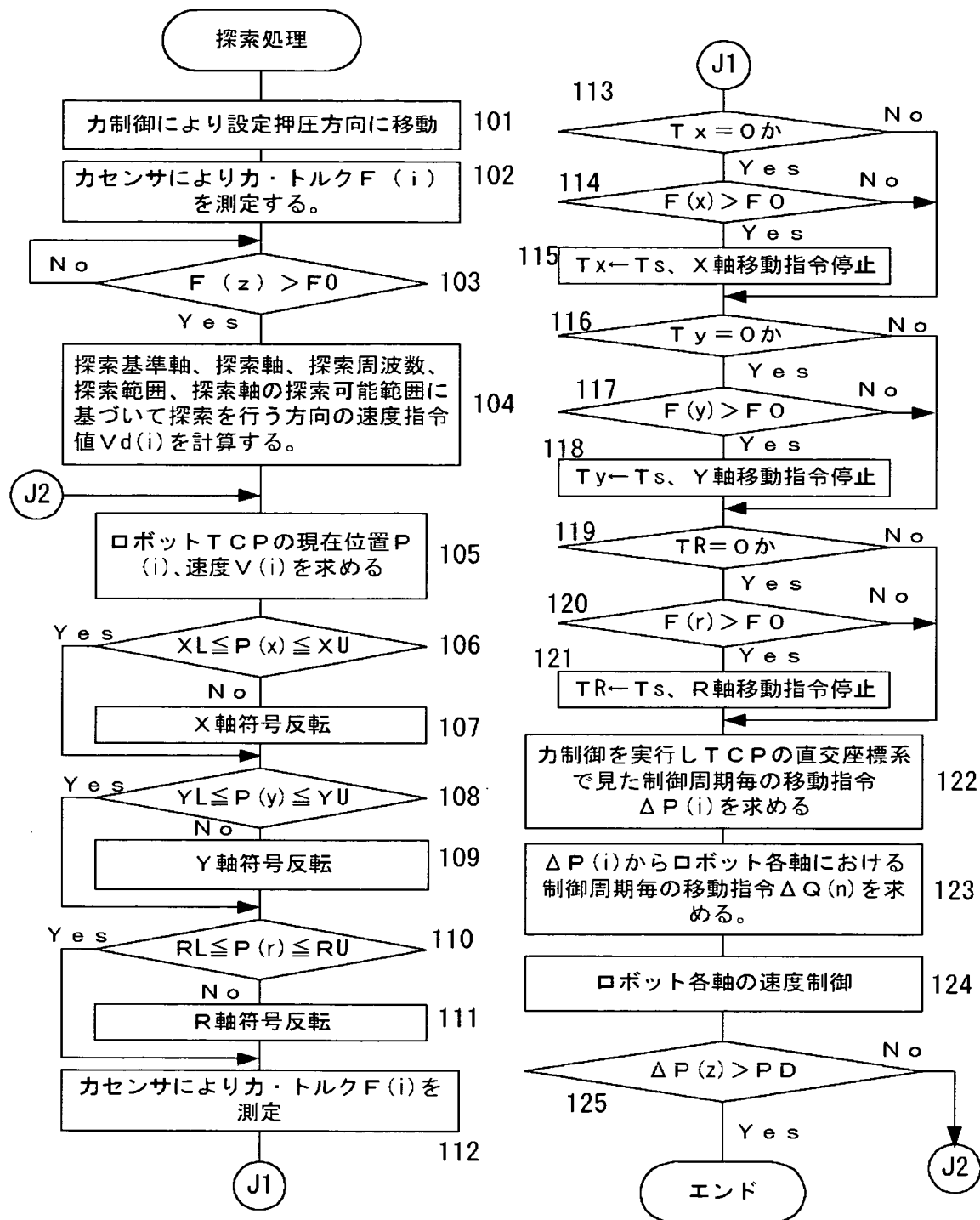
【図 5】



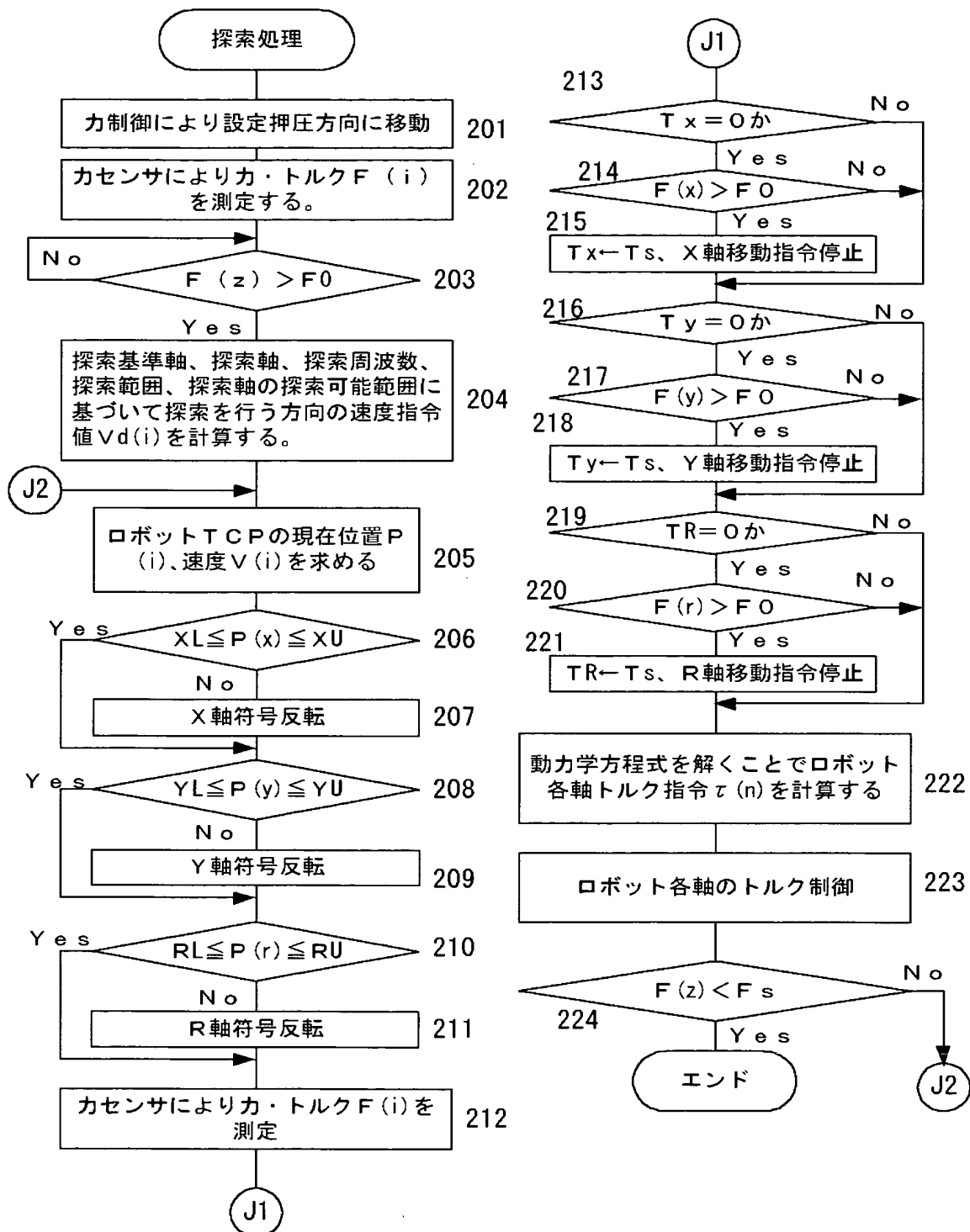
【図 6】



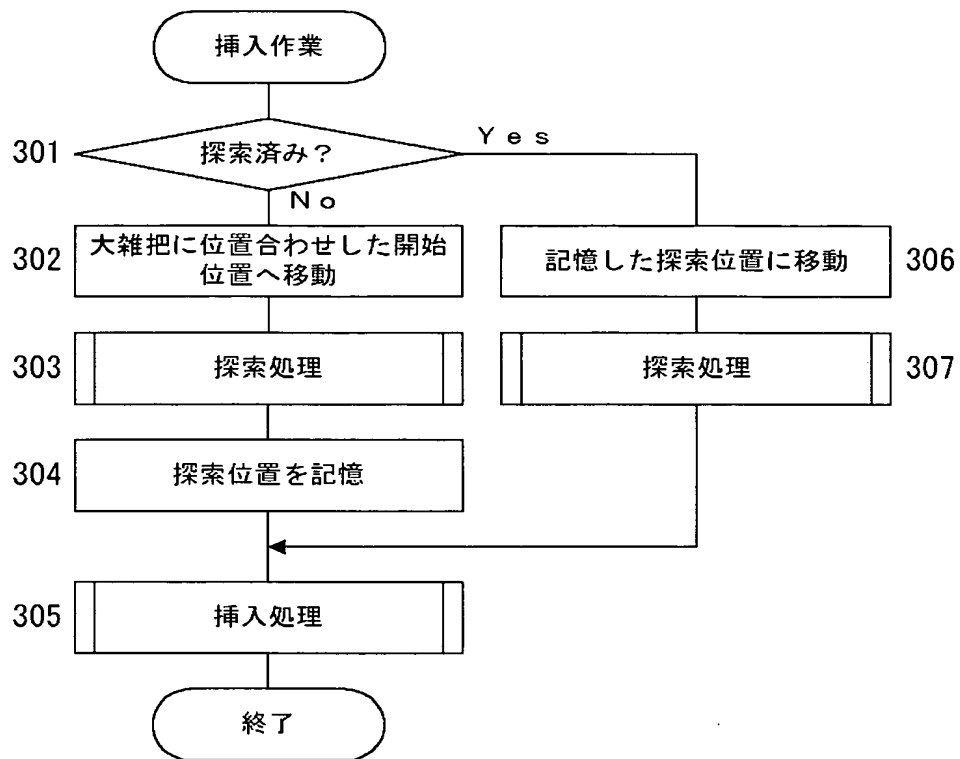
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 効率的、確実に挿入、嵌合位置を簡単に検出することができ、簡単に自動組立てができる。

【解決手段】 棒状のワークを対象物の穴に挿入する際、挿入可能な範囲 10 は、ワークと穴のクリアランス量、穴に設けられた面取り量等で決まる。この挿入可能な範囲 10 を穴中心位置 3 cp から半径 r の範囲とする。ワークの中心位置 1 cp とすると、ワークを X 軸方向の探索領域 (XL~XU) を 1 回移動する間に Y 軸方向には挿入可能な範囲の量 $2r$ 以下だけ移動する。破線で示すように、探索領域 (XL~XU、YL~YU) を移動すれば、必ず、ワーク中心 1 cp は、挿入可能範囲 10 を通ることになる。ワーク中心 1 cp が挿入可能範囲 10 内に入ると、ワークは対象物方向に押圧されているから、ワークは穴に挿入されることになる。

【選択図】 図 2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 3 3 8 0 2 2
受付番号	5 0 2 0 1 7 6 0 4 9 8
書類名	特許願
担当官	第三担当上席 0 0 9 2
作成日	平成 1 4 年 1 1 月 2 2 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成14年11月21日

次頁無

特願 2 0 0 2 - 3 3 8 0 2 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 9 0 0 0 8 2 3 5]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 1 0 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地

氏 名

ファナック株式会社